# 玉米秸秆饲粮条件下阴外动脉灌注氨基酸混合物对奶牛乳腺内短链脂肪酸摄取规律的影响

李沐阳　闫素梅*　韩慧娜　生　冉　郭晓宇

（内蒙古农业大学动物科学学院，呼和浩特 010018）

摘　要：本试验采用动静脉血插管技术，以泌乳中期荷斯坦奶牛为研究对象，研究玉米秸秆饲粮条件下阴外动脉灌注氨基酸（AA）混合物对奶牛产奶性能、尾动脉血和乳静脉血中短链脂肪酸（SCFA）浓度及其比例以及乳腺内 SCFA 摄取规律的影响。采用 2×2 交叉试验设计，将体况良好、体重相近、日产奶量为（20.17±1.28） kg 的 8 头经产（2～3 胎）荷斯坦奶牛随机分为采食不同饲粮的 2 组[苜蓿组（MF 组）和玉米秸秆组（CS 组）]，每组 4 头。2 组奶牛饲喂的饲粮精粗比均为 45:55，精饲料组成相同，粗饲料组成不同，MF 组粗饲料由苜蓿干草、玉米青贮和羊草组成，CS 组以单一的玉米秸秆全部替代 MF 组饲粮中的粗饲料。试验分为 2 个阶段，每个阶段 20 d，均分为饲粮适应期（预试期）14 d，载体灌注期 3 d，正式灌注期 3 d。在第 1 阶段，在载体灌注期，MF 组奶牛接受载体灌注（阳性对照组 1），CS 组奶牛也接受载体灌注（对照组）；在正式灌注期，MF 组奶牛继续接受载体灌注（阳性对照组 2），CS 组奶牛接受 AA 混合物灌注；在第 2 阶段，将 2 组动物互换后处理方法同第 1 阶段。每个正式灌注期的最后 2 d 采集乳样和血样。结果显示：CS 组奶牛阴外动脉灌注 AA 混合物可显著提高乳蛋白率（$P<0.05$），对乳产量、4%乳脂校正乳（FCM）产量、乳脂率、乳脂产量、乳蛋白产量有一定促进效果，但部分指标仍然显著低于 MF 组（$P<0.05$）。CS 组奶牛阴外动脉灌注 AA 混合物可趋于显著地提高乳静脉血中乙酸的浓度（$P=0.09$），显著降低乳腺内乙酸的动静脉差（$P<0.05$），缩小了 CS 组与 MF 组奶牛在乳腺

---

收稿日期：2016-12-14

基金项目：国家奶业“973 计划”项目（2011CB1008003）

作者简介：李沐阳(1991-)，男，吉林长春人，硕士研究生，从事反刍动物营养研究。E-mail: 794597416@qq.com

*通信作者：闫素梅，教授，博士生导师，E-mail： yansmimau@163.com

chinaXiv:201711.00832v1

对乙酸的摄取量和摄取效率方面存在的差距。CS 组奶牛阴外动脉灌注 AA 混合物对提高尾动脉血中乙酸/丙酸、（乙酸+丁酸）/丙酸有一定的促进效果（$P$>0.05）。由此得出，以玉米秸秆为粗饲料的奶牛阴外动脉灌注 AA 混合物可显著提高乳蛋白率，增加乳静脉血中的乙酸浓度，同时缩小与以苜蓿干草、玉米青贮和羊草为粗饲料的奶牛在乳腺对乙酸的摄取量和摄取效率方面存在的差距。

关键词：奶牛；阴外动脉；氨基酸混合物；短链脂肪酸；摄取

中图分类号：S816　　文献标识码：A　　文章编号：

随着人们生活水平和健康意识的提高，对乳品质的要求也随之提高。乳脂与乳蛋白含量是衡量乳品质的重要指标[1]。我国是一个玉米秸秆生产大国，其来源丰富，同时由于优质的粗饲料资源有限，因此一些地方存在着以玉米秸秆作为奶牛饲粮主要粗饲料的情况，而饲喂以玉米秸秆为主要粗饲料的饲粮会严重降低奶牛的产奶量和乳脂率与乳蛋白率，因此，深入研究在秸秆饲粮条件下奶牛产奶性能和乳品质低下的原因及其营养调控技术，对有效提高秸秆资源在奶牛生产中的利用效率具有重要的理论与实际意义。一些研究发现，氨基酸（AA）混合物在对乳蛋白的合成起调控作用的同时，也能够影响乳脂的合成[2]，但目前的研究主要是关于饲粮添加过瘤胃蛋白质（包括 AA、小肽及非蛋白质氮物质等）对奶牛产奶性能的试验报道[3]，而基于玉米秸秆饲粮条件下，通过灌注 AA 混合物研究其对乳脂合成影响的研究尚未见报道。有限的资料报道了奶牛静脉或奶山羊阴外动脉灌注乳蛋白前体物对乳脂合成的影响。Chamberlain 等[4]研究发现，在奶牛静脉中灌注一定量的蛋氨酸可以提高牛奶的乳脂产量；段斌[5]的研究表明，给关中奶山羊的阴外动脉灌注 6.2 g/d AA 混合物时，乳腺组织对乙酸的摄取量提高了 7.2%，同时对葡萄糖的摄取量提高了 111.4%。本课题的前期阶段性研究结果表明，以玉米秸秆为主要粗饲料的奶牛的产奶量和乳脂率显著低于以苜蓿、玉米青贮为混合粗饲料的奶牛；阴外动脉血中乳脂前体物的供给量也出现了显著的差异，提示以玉米秸秆为粗饲料的饲粮模式导致产奶量和乳品质低下的原因可能与尾动脉血

chinaXiv:201711.00832v1

中外源供给的乳脂前体物浓度的差异有关。然而，目前相关的研究尚未见系统报道。鉴于此，本试验利用动静脉血插管技术，对玉米秸秆饲粮条件下的奶牛阴外动脉灌注 AA 混合物，研究其对尾动脉血和乳静脉血中的短链脂肪酸（SCFA）浓度及其比例以及乳腺内 SCFA 摄取规律的影响，为进一步科学解释以玉米秸秆为主要粗饲料与以苜蓿、玉米青贮为混合粗饲料的奶牛在产奶性能和乳品质方面存在差异的主要原因提供理论基础，并为有效提高秸秆饲料资源在牛奶生产中的利用效率和改善乳品质奠定科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验动物与试验设计

本试验选用 8 头健康无病、体重接近、经产（2～3 胎）、泌乳中期、日产奶量在（20.17±1.28） kg/d 的中国荷斯坦奶牛，采用 2×2 交叉试验设计，随机分为 2 组，苜蓿组（MF 组）和玉米秸秆组（CS 组），每组 4 头牛。2 组奶牛饲喂的饲粮精粗比为 45:55，精饲料组成相同，粗饲料组成不同，MF 组粗饲料由苜蓿干草、玉米青贮和羊草组成，CS 组以单一的玉米秸秆全部替代 MF 组饲粮中的粗饲料。试验分为 2 个阶段，每个阶段 20 d，均分为饲粮适应期（预试期）14 d，载体灌注期 3 d，正式灌注期 3 d。MF 组和 CS 组分别设置载体灌注（C）和 AA 混合物灌注（A）。在第 1 阶段的载体灌注期，MF 组奶牛接受载体灌注（阳性对照组 1，$MFC_1$ 组），CS 组奶牛也接受载体灌注（对照组，CSC 组）；在正式灌注期，MF 组奶牛继续接受载体灌注（阳性对照组 2，$MFC_2$ 组），CS 组奶牛灌注 AA 混合物（CSA 组）；在第 2 阶段，为了消除个体间的差异，将 2 组动物互换后，再按照第 1 阶段方法进行处理。试验期间奶牛饲喂全混合日粮（TMR），每天分早和晚 2 次供料，自由采食，自由饮水，使每日的剩料量是投料量的 5%，每天早和晚各挤奶 1 次。TMR 组成及营养水平见表 1。

表 1　TMR 组成及营养水平(干物质基础)

Table 1　Composition of nutrient levels of TMR （DM basis）　%

chinaXiv:201711.00832v1

| 项目 Items | MF 组 MF group | CS 组 CS group |
|---|---|---|
| 原料 Ingredients | | |
| 苜蓿干草 Alfalfa hay | 23.4 | |
| 羊草 Chinese wildrye | 3.7 | |
| 玉米青贮 Corn silage | 26.7 | |
| 玉米秸秆 Corn stover | | 53.8 |
| 玉米 Corn | 24.6 | 24.6 |
| 豆粕 Soybean meal | 14.8 | 14.8 |
| 全棉籽 Whole cottonseed | 5.1 | 5.1 |
| 磷酸氢钙 $CaHPO_4$ | 0.6 | 0.6 |
| 食盐 NaCl | 0.5 | 0.5 |
| 预混料 Premix[1)] | 0.6 | 0.6 |
| 合计 Total | 100.0 | 100.0 |
| 营养水平 Nutrient levels[2)] | | |
| 粗蛋白质 CP | 18.14 | 13.61 |
| 粗脂肪 EE | 3.97 | 2.84 |
| 中性洗涤纤维 NDF | 32.3 | 44.3 |
| 酸性洗涤纤维 ADF | 21.3 | 29.1 |
| 淀粉 Starch | 21.5 | 15.32 |
| 产奶净能 $NE_L$/（MJ/kg） | 1.57 | 1.04 |

[1)]预混料为每千克 TMR 提供 The premix provides the following per kg of TMR：VA 700 000 IU，$VD_3$ 120 000 IU，VE 2 100 mg，Fe 1 750 mg，Cu 1 600 mg，Zn 10 000 mg，Mn 3 500 mg，Se 42 mg，I 84 mg，Co 42 mg。

[2)]产奶净能是计算值，计算依据为《奶牛饲养标准》（NY/T 34—2004）中的《奶牛常用饲料成分与营养价值表》，其余为实测值。$NE_L$ is a calculated value according to the *Feed Composition and Nutritional Value Table of Dairy Cows* in *Dairy Cattle Feeding Standard* (NY/T 34—2004), while the others are measured values.

### 1.2 AA 混合物灌注液的组成与配制

载体灌注液的主要配制过程：准确称取 6 g 大豆卵磷脂溶解到生理盐水中，加热搅拌均匀。待混合液降至室温时，定容至 1 L；高压均质，均质后的混合液经 4 层纱布过滤，高压灭菌后分装封盖备用。

AA 混合物的灌注量=（MF 组奶牛合成乳蛋白的过程中由血浆供给的 AA 的总量-CS 组奶牛合成乳蛋白的过程中由血浆供给的 AA 的总量）×10%，以其作为 CS 组奶牛血液内的

chinaXiv:201711.00832v1

chinaXiv:201711.00832v1

AA 混合物的补充剂量，AA 混合物灌注液的配制参考 Mepham[2]和 Chamberlain 等[4]的研究。每头牛每天 AA 混合物的灌注量约为 152 g，AA 混合物中 Thr、Ser、Glu、Gly、Ala、Cys、Val、Met、Ile、Leu、Tyr、Phe、Lys、His 和 Arg 的比例分别为 12.50％、5.92％、11.18％、7.24％、11.84％、1.32％、17.76％、1.32％、5.26％、6.58％、2.63％、3.29％、5.92％、3.29％和 3.95％。在载体灌注期前 1 周埋置血插管于奶牛的阴外动脉，采用微量横流泵对奶牛进行血液灌注，灌注前灌注液装瓶高压灭菌处理，灌注时间安排在早晨采食开始后，每日持续灌注 6 h，灌注液的总体积为 2 L，AA 混合物灌注液中 AA 混合物浓度为 76 g/L。

### 1.3　血浆与乳样的采集与制备

分别在每个正式灌注期的第 2 天上午灌注前 0 h 与下午采食前 0 h 采集试验奶牛尾动脉血液样品 20 mL，并在第 3 天上午灌注后的 1 h 和下午采食后的 4 h 采集试验奶牛乳静脉血液样品 20 mL，血液样品经肝素钠抗凝，4 ℃条件下 4 000×*g* 离心 10 min 制备血浆，血浆于-20 ℃保存备用[6]。

在每个正式灌注期的最后 2 d，挤奶的同时采集乳样并记录产奶量。早、晚乳样按照产量比例混合后，分装至 50 mL 无菌离心管中，一部分立即测定乳成分，其余在-20 ℃保存备用。

### 1.4　测定指标与方法

饲粮中性洗涤纤维（NDF）与酸性洗涤纤维（ADF）含量采用滤袋技术在 ANKOM 200 型纤维分析仪上测定，粗蛋白质（CP）含量采用凯氏定氮法测定，粗脂肪（EE）含量采用索氏提取法测定，淀粉含量采用酶水解法在 Beckman Synchron CX4/Pro 全自动生化分析仪上测定，上述指标测定的具体操作步骤参照《饲料分析与饲料质量检测技术》[7]。

产奶性能指标主要包括乳脂率与乳脂产量、乳蛋白率与乳蛋白产量、产乳脂效率和干物质采食量（DMI）。乳脂率和乳蛋白率应用乳品成分自动分析仪（MilkoScan™

Minor-Type 78110，FOSS Analytical A/S 69，DK-3400，丹麦)测定。试验期内每日记录采食量并且计算试验奶牛的 DMI。

乳脂产量(kg/d)=乳脂率×平均产奶量。

乳蛋白产量(kg/d)=乳蛋白率×平均产奶量。

产乳脂效率（%）=（乳脂产量/DMI）×100。

尾动脉血和乳静脉血中的脂肪酸浓度采用气相色谱仪（岛津 GC-2010 型，日本）测定。其中，SCFA（包括乙酸、丙酸和丁酸）的浓度采用内标法测定，内标物是巴豆酸[8]；长链脂肪酸包括 C18:0、C18:1*cis*-9 的浓度以十七烷酸作为内标物，脂肪酸甲酯标准品作为外标物，使用二阶程序升温法分离检测[9]。同时计算尾动脉血与乳静脉血中的乙酸/丙酸、（乙酸+丁酸）/丙酸。

乳腺内的血流量以 C18:0+C18:1*cis*-9 作为内源指示剂估算[10]，SCFA 的摄取效率和摄取量参照 Enjalbert 等[11]的方法进行计算，计算公式如下：

血流量(L/L 乳)=乳中 C18:0+C18:1*cis*-9 的含量/(动脉血中 18:0+18:1*cis*-9 含量–静脉血中 18:0+18:1*cis*-9 含量)。

摄取效率（%）=(动静脉血中浓度差/动脉血中浓度)×100。

摄取量（mmol/L 乳）=动静脉血中浓度差×血流量。

### 1.5 数据处理

采用 SAS 9.0 软件中的 MIXED 模型进行统计分析，$P$<0.05 表示组间差异显著，0.05≤$P$<0.10 表示组间差异趋于显著。

## 2 结 果

### 2.1 玉米秸秆饲粮条件下阴外动脉灌注 AA 混合物对奶牛产奶性能的影响

由表 2 可知，在灌注前，CSC 组的 DMI、乳产量、4%乳脂校正乳（FCM）产量、乳脂产量、乳蛋白产量和产乳脂效率均显著低于 $MFC_1$ 组（$P$<0.05）；在灌注后，CSA 组 FCM

chinaXiv:201711.00832v1

产量有低于 MFC$_2$ 组的趋势（$P$=0.06），且除乳脂率和乳蛋白率外的其他指标均显著低于 MFC$_2$ 组（$P$<0.05）。与 CSC 组相比，CSA 组乳蛋白率显著升高（$P$<0.05），其他指标无显著变化（$P$>0.05）。

表 2　玉米秸秆饲粮条件下阴外动脉灌注 AA 混合物对奶牛产奶性能的影响

Table 2　Effects of infusing AA mixture into external pubic artery on lactating performance of dairy cows under corn straw diet condition

| 项目 Items | 灌注前 Before infusion | | 灌注后 After infusion | | SEM | $P$ 值 $P$-value | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CSC | MFC$_1$ | CSA | MFC$_2$ | | CSC×MFC$_1$ | CSC×CSA | CSA×MFC |
| 干物质采食量 DMI/(kg/d) | 10.11 | 12.61 | 9.59 | 12.37 | 0.54 | 0.03 | 0.55 | <0.01 |
| 乳产量 Milk yield/(kg/d) | 11.50 | 18.34 | 11.36 | 16.03 | 1.44 | <0.01 | 0.94 | 0.02 |
| 4%乳脂校正乳产量 FCM yield/(kg/d) | 14.03 | 20.66 | 13.34 | 17.73 | 1.70 | 0.01 | 0.75 | 0.06 |
| 乳脂率 Milk fat rate/% | 4.38 | 4.68 | 4.75 | 4.91 | 0.25 | 0.32 | 0.22 | 0.55 |
| 乳脂产量 Milk fat yield/(kg/d) | 0.55 | 1.04 | 0.46 | 0.91 | 0.05 | <0.01 | 0.16 | <0.01 |
| 产乳脂效率 Milk fat production efficiency/% | 5.26 | 8.05 | 5.10 | 7.19 | 0.12 | <0.01 | 0.36 | <0.01 |
| 乳蛋白率 Milk protein rate/% | 3.11 | 3.30 | 3.44 | 3.45 | 0.12 | 0.32 | 0.04 | 0.94 |
| 乳蛋白产量 Milk protein yield/(kg/d) | 0.34 | 0.70 | 0.39 | 0.59 | 0.04 | <0.01 | 0.27 | 0.01 |

CSC 代表 CS 组灌注载体，MFC$_1$ 代表苜蓿组灌注载体（阳性对照组 1），CSA 代表 CS 组灌注 AA 混合物，MFC$_2$ 代表 MF 组灌注载体（阳性对照组 2）。$P$＜0.05 表示组间差异显著，0.05≤$P$＜0.10 表示组间差异趋于显著。下表同。

.CSC means CS group with carrier infusion, MFC$_1$ means MF group with carrier infusion (positive control group 1), CSA means CS group with AA mixture infusion, MFC$_2$ means MF group with carrier infusion (positive control group 2). $P$＜0.05 means the difference between groups significant, and 0.05≤$P$＜0.10 means the difference between groups tended to be significant. The same as below.

2.2　玉米秸秆饲粮条件下阴外动脉灌注 AA 混合物对奶牛尾动脉血和乳静脉血中乙酸、丙酸、丁酸浓度及其比例的影响

由表 3 可知，尾动脉血和乳静脉血中乙酸、丙酸、丁酸浓度及 SCFA 浓度在 CSC 组与

chinaXiv:201711.00832v1

$MFC_1$组间、CSA 组与 $MFC_2$组间差异均不显著（$P$＞0.05）。CSA 组乳静脉血中乙酸浓度有高于 CSC 组的趋势（$P$=0.09），其他指标 2 组间差异不显著（$P$＞0.05）。

表 3　玉米秸秆饲粮条件下阴外动脉灌注 AA 混合物对奶牛尾动脉血和乳静脉血中 SCFA 浓度的影响

Table 3　Effects of infusing AA mixture into external pubic artery on SCFA concentrations in blood of caudal artery and mammary vein of dairy cows under corn straw diet condition　　mmol/L

| 项目 Items | 灌注前 Before infusion | | 灌注后 After infusion | | SEM | *P* 值 *P*-value | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CSC | $MFC_1$ | CSA | $MFC_2$ | | CSC ×$MFC_1$ | CSC ×CSA | CSA ×$MFC_2$ |
| 尾动脉血 Caudal artery blood | | | | | | | | |
| 乙酸 Acetic acid | 3.61 | 5.36 | 4.78 | 6.34 | 0.81 | 0.13 | 0.40 | 0.21 |
| 丙酸 Propionic acid | 4.65 | 4.77 | 4.81 | 5.34 | 0.55 | 0.84 | 0.85 | 0.49 |
| 丁酸 Butyric acid | 1.76 | 1.83 | 2.07 | 1.61 | 0.22 | 0.81 | 0.39 | 0.14 |
| 短链脂肪酸 SCFA | 10.02 | 11.96 | 11.66 | 13.29 | 1.39 | 0.28 | 0.42 | 0.49 |
| 乳静脉血 Mammary vein blood | | | | | | | | |
| 乙酸 Acetic acid | 2.02 | 2.72 | 3.26 | 2.57 | 0.43 | 0.28 | 0.09 | 0.31 |
| 丙酸 Propionic acid | 5.02 | 5.74 | 4.77 | 4.89 | 0.41 | 0.19 | 0.72 | 0.84 |
| 丁酸 Butyric acid | 2.46 | 2.46 | 1.98 | 1.95 | 0.26 | 0.99 | 0.21 | 0.94 |
| 短链脂肪酸 SCFA | 9.50 | 10.92 | 10.01 | 9.41 | 0.52 | 0.44 | 0.29 | 0.16 |

由表 4 可知，灌注 AA 混合物对尾动脉血和乳静脉血中乙酸/丙酸、（乙酸+丁酸）/丙酸均无显著影响（$P$>0.05）。

表 4　玉米秸秆饲粮条件下阴外动脉灌注 AA 混合物对尾动脉血和乳静脉血中 SCFA 比例的影响

Table 4　Effects of infusing AA mixture into external pubic artery on SCFA proportions in blood of caudal artery and mammary vein of dairy cows under corn straw diet condition

| 项目 Items | 灌注前 Before infusion | | 灌注后 After infusion | | SEM | *P* 值 *P*-value | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CSC | $MFC_1$ | CSA | $MFC_2$ | | CSC ×$MFC_1$ | CSC ×CSA | CSA ×MF |
| 尾动脉血 Caudal artery blood | | | | | | | | |
| 乙酸/丙酸 Acetic acid/propionic acid | 0.78 | 1.12 | 0.99 | 1.19 | 0.16 | 0.14 | 0.31 | 0.57 |
| (乙酸+丁酸)/丙酸 | 1.15 | 1.51 | 1.42 | 1.49 | 0.18 | 0.23 | 0.29 | 0.89 |

chinaXiv:201711.00832v1

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (Acetic acid +butyric acid)/propionic acid | | | | | | | | |
| 乳静脉血 Mammary vein blood | | | | | | | | |
| 乙酸/丙酸 Acetic acid/propionic acid | 0.40 | 0.47 | 0.68 | 0.53 | 0.08 | 0.63 | 0.11 | 0.36 |
| (乙酸+丁酸)/丙酸 (Acetic acid +butyric acid)/propionic acid | 0.89 | 0.90 | 1.10 | 0.92 | 0.13 | 0.76 | 0.51 | 0.27 |

## 2.3 玉米秸秆饲粮条件下阴外动脉灌注 AA 混合物对奶牛乳腺内 SCFA 摄取规律的影响

由表 5 可知，CSA 组血流量显著高于 $MFC_2$ 组（$P$<0.05），CSA 组乙酸的动静脉差有低于 $MFC_2$ 组的趋势（$P$=0.05），乙酸、丙酸、丁酸及 SCFA 的动静脉差、摄取效率和摄取量在 CSC 组与 $MFC_1$ 组间、CSC 与 CSA 组间、CSA 组与 $MFC_2$ 组间差异均不显著（$P$＞0.05）。

表 5　玉米秸秆饲粮条件下阴外动脉灌注 AA 混合物对奶牛乳腺内 SCFA 摄取规律的影响

Table 5　Effects of infusing AA mixture into external pubic artery on uptake rule of SCFA in mammary gland of dairy cows under corn straw diet condition

| 项目 Items | 灌注前 Before infusion | | 灌注后 After infusion | | SEM | *P* 值 *P*-value | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CSC | $MFC_1$ | CSA | $MFC_2$ | | CSC×$MFC_1$ | CSC×CSA | CSA×$MFC_2$ |
| 血流量 Blood flow/(L/L 乳) | 309.14 | 99.09 | 776.03 | 63.74 | 248.50 | 0.56 | 0.18 | 0.03 |
| 乙酸 Acetic acid | | | | | | | | |
| 动静脉差 Arteriovenous difference difference/(mmol/L) | 1.59 | 2.64 | 1.52 | 3.77 | 0.75 | 0.31 | 0.77 | 0.05 |
| 摄取效率 Uptake efficiency/% | 44.04 | 49.25 | 31.80 | 59.46 | 12.00 | 0.34 | 0.57 | 0.18 |
| 摄取量 Uptake quantity/(mmol/L 乳) | 491.53 | 261.60 | 1179.57 | 240.30 | 252.00 | 0.73 | 0.29 | 0.83 |
| 丙酸 Propionic acid | | | | | | | | |
| 动静脉差 Arteriovenous difference/(mmol/L) | -0.37 | -0.97 | 0.04 | 0.45 | 0.70 | 0.31 | 0.51 | 0.77 |
| 摄取效率 Uptake efficiency /% | -7.96 | -20.33 | 0.83 | 8.43 | 12.00 | 0.21 | 0.44 | 0.43 |
| 摄取量 Uptake quantity/(mmol/L 乳) | -114.38 | -96.12 | 31.04 | 28.68 | 114.45 | 0.54 | 0.64 | 0.70 |
| 丁酸 Butyric acid | | | | | | | | |
| 动静脉差 Arteriovenous difference/(mmol/L) | -0.70 | -0.63 | 0.09 | -0.34 | 0.38 | 0.82 | 0.40 | 0.66 |
| 摄取效率 Uptake efficiency /% | -39.77 | -34.43 | 4.35 | -21.12 | 26.00 | 0.84 | 0.33 | 0.55 |
| 摄取量 Uptake quantity/(mmol/L 乳) | -216.40 | -62.43 | 69.84 | -21.67 | 96.13 | 0.39 | 0.45 | 0.79 |
| 短链脂肪酸 SCFA | | | | | | | | |
| 动静脉差 Arteriovenous difference/(mmol/L) | 0.52 | 1.04 | 1.65 | 3.88 | 1.28 | 0.83 | 0.43 | 0.31 |
| 摄取效率 Uptake efficiency/% | 5.19 | 8.70 | 14.15 | 29.19 | 8.00 | 0.93 | 0.53 | 0.42 |

ChinaXiv:201711.00832v1

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 摄取量 Uptake quantity/(mmol/L 乳) | 160.75 | 103.05 | 1 280.45 | 247.31 | 338.65 | 0.67 | 0.21 | 0.48 |

动静脉差是指尾动脉血中的脂肪酸浓度与乳静脉血中相应脂肪酸浓度之差。

Arteriovenous difference means the difference between concentration of fatty acid in tail arterial blood and the corresponding concentration of fatty acid in mammary vein blood.

## 3 讨 论

玉米秸秆尽管由于营养价值低制约了奶牛产奶性能的发挥，但由于来源丰富，而优质的粗饲料资源有限，使得玉米秸秆目前在许多地区仍然是奶牛的主要粗饲料之一[12]。因此，深入研究玉米秸秆引起奶牛产奶性能低下的原因及其改进措施对有效提高玉米秸秆在奶牛生产中的利用效率具有重要的理论与实际意义[13]。本课题的前期阶段性研究结果表明，以玉米秸秆为主要粗饲料的奶牛的乳产量、乳脂率和乳蛋白率均显著低于以苜蓿、玉米青贮为混合粗饲料的奶牛，这可能与尾动脉血中外源供给的 AA 混合物浓度的差异有关，然而，目前尚未见相关研究的系统报道。本试验研究结果得出，在玉米秸秆饲粮条件下阴外动脉灌注 AA 混合物可使奶牛的乳蛋白率得到显著改善。在灌注 AA 混合物前，CSC 组的乳产量、FCM 产量、产乳脂效率与乳蛋白产量均显著低于 $MFC_1$ 组，各指标相对于 $MFC_1$ 组的比例分别是 62.70%、67.90%、35.34%和 48.57%；在灌注 AA 混合物后，尽管 CSA 组在上述指标方面仍然显著低于 $MFC_2$ 组，但各指标间的差距在缩小，CSA 组相对于 $MFC_2$ 组的比例分别为 70.86%、75.23%、70.93%和 66.10%，说明以玉米秸秆为粗饲料的奶牛在灌注 AA 混合物后其产奶性能尽管仍然低于以苜蓿、玉米青贮和羊草为粗饲料的奶牛，但均得到了不同程度的改善，缩小了与两者之间的差距，也说明 AA 混合物不仅可以调控乳蛋白合成，对乳脂合成也具有一定的调控作用。这些结果同时也说明，尽管通过灌注 AA 混合物可有效弥补以单一玉米秸秆为粗饲料引起的饲粮营养不足，有效改善产奶性能，但仍然与以苜蓿、玉米青贮和羊草为粗饲料时存在差距，因此，如何通过营养调控技术进一步提高玉米秸秆饲料资源的转化效率和奶牛产奶性能还需要深入探讨。

chinaXiv:201711.00832v1

Baumrucker[14]研究指出，乳腺利用营养物质的 3 个重要因素分别是乳腺内血液中营养物质的浓度、血流量和营养物质的转运效率。随着动静脉血插管技术的应用，近年研究发现乳腺内大多数 AA 的动静脉浓度差与动脉血浓度呈线性相关。段斌[5]的研究发现，在关中奶山羊的阴外动脉灌注 6.2 g/d 的 AA 混合物后，乳腺对乙酸的摄取量提高了 7.2%。王强[15]的研究指出，在关中奶山羊的阴外动脉内灌注一定量的 AA 混合物后，乳腺血浆内的乙酸、丁酸以及总挥发性脂肪酸浓度显著提高，而且乳腺对乙酸的摄取量也显著地提高；此外，乳腺对乳脂前体物的摄取量提高了 50.0%～71.5%，对乳糖前体物的摄取量也提高了 9.1%～30.6%。以上这些研究结果提示灌注 AA 混合物可改善奶山羊和奶牛乳腺对乙酸、丁酸等乳脂前体物的摄取量。本试验为了进一步探讨 CS 组奶牛的产奶性能低于 MF 组的原因，研究了灌注 AA 混合物前后尾动脉血和乳静脉血中 SCFA 的浓度及乳腺内 SCFA 摄取规律的变化，结果得出，灌注 AA 混合物能够增加乳腺静脉血中的乙酸浓度，乙酸/丙酸也有一定的提高，并可缩小 CS 组与 MF 组奶牛在乳腺对乙酸的摄取量和摄取效率方面存在的差距。灌注前，CSC 组乙酸摄取量与摄取效率相对于 $MFC_1$ 组的比例分别是 55.3%和 58.1%，而灌注后，CSA 组乙酸摄取量与摄取效率相对于 $MFC_2$ 组的比例分别为 89.4%和 61.0%，这可能是奶牛产奶性能得到改善的原因之一，但目前相关的研究尚未见系统的报道，有关机制需要进一步探讨。血液中乳脂合成底物浓度及血流量的变化是影响乳腺摄取效率的主要因素，本试验结果得出，灌注 AA 混合物后，奶牛血流量上升，乙酸动静脉差增加，这可能是提高乳腺对乙酸的摄取量与摄取效率的原因之一。Safayi 等[16]研究指出，必需氨基酸（EAA）的添加可促进乙酸和β-羟丁酸进入乳腺，这可能是新陈代谢的需要且有助于脂肪酸的从头合成。Purdie 等[17]报道，奶牛髓外动脉灌注 AA 导致动脉血浆中胰岛素浓度增加，促进了乳腺对能量代谢产物葡萄糖和乙酸的摄取。目前相关的研究报道甚少，有关机制需要进一步探讨。此外，许多研究证实灌注 AA 混合物对乳腺对 AA 的摄取规律有一定的影响。孙满吉等[18]给关中奶山羊阴外动脉灌注 49.2 和 65.6 g/d 的 AA 后发现，乳腺动脉血中大部分

chinaXiv:201711.00832v1

ChinaXiv合作期刊

AA 的浓度和乳腺对大部分 AA 的摄取量均显著升高，但对赖氨酸（Lys）、缬氨酸（Val）和亮氨酸（Leu）的浓度和摄取量无显著影响，乳腺对 EAA 的摄入量分别提高了 15.4%和16.1%，对非必需氨基酸（NEAA）的摄入量也分别提高了 31.3%和 29.4%。刘飞[19]在基础饲粮条件下给泌乳山羊真胃分别灌注全 AA(F 组)、缺失 Lys 的全 AA(-L 组)和无 AA 载体(O组)，研究结果发现，乳蛋白产量 F 组显著高于-L 组和 O 组。由此推测，CS 组奶牛灌注 AA混合物后产奶性能的改善可能与乳腺对 AA 混合物的摄取规律发生变化有关，因此，有必要进一步从乳腺对 AA 摄取规律的变化进行深入研究。本论文的研究结果尽管为有效提高奶牛对玉米秸秆饲料资源的利用效率和改善乳品质奠定了科学依据，但由于试验牛头数少，其确切的研究结果需要进一步试验验证。

## 4 结 论

阴外动脉灌注 AA 混合物后，CS 组奶牛的乳产量、FCM 产量、乳脂率、乳脂产量、乳蛋白产量尽管仍低于苜蓿组，但均得到了不同程度的改善，缩小了与 MF 组的差距。CS 组奶牛阴外动脉灌注 AA 混合物可显著提高乳蛋白率，增加乳腺血流量和乳静脉血中的乙酸浓度，缩小与 MF 组奶牛在乳腺对乙酸的摄取量和摄取效率方面存在的差距。

参考文献：

[1] ROBINSON P H,CHALUPA W,SNIFFEN C J,et al.Influence of postruminal supplementation of methionine and lysine,isoleucine,or all three amino acids on intake and chewing behavior,ruminal fermentation,and milk and milk component production[J].Journal of Animal Science,1999,77(10):2781–2792.

[2] MEPHAM T B.Amino acid utilization by lactating mammary gland[J].Journal of Dairy Science,1982,65(2):287–298.

[3] 王剑飞,王梦芝,冯春燕,等.过瘤胃蛋氨酸对奶牛瘤胃体外发酵及泌乳奶牛生产性能的影响[J].动物营养学报,2015, 27(7):2248-2255.

chinaXiv:201711.00832v1

[4] CHAMBERLAIN D G,THOMAS P C.Effect of intravenous supplements of *L*-methionine on milk yield and composition in cows given silage-cereal diets[J].Journal of Dairy Research,1982,49(1):25–28.

[5] 段斌.阴外动脉氨基酸平衡对奶山羊乳腺摄取乳成分前体物的影响[D].硕士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.

[6] 赵小伟,王加启,孙鹏,等.日粮添加不同脂肪酸混合物对奶牛血液脂肪酸组成及抗氧化性能的影响[J].中国农业大学学报,2011,16(6):117–123.

[7] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].2 版.北京:中国农业大学出版社,2003.

[8] 翁霞,辛广.生物样品中短链脂肪酸提取测定及其应用进展[J].鞍山师范学院学报,2010,12(4):27–32.

[9] 曹德庆,侯心玥,罗素慧,等.血浆中脂肪酸检测方法的研究[C]//第三届环渤海色谱质谱学术报告会.天津:天津市色谱研究会,2014.

[10] ANNISON E F,LINZELL J L,FAZAKERLEY S,et al.The oxidation and utilization of palmitate,stearate,oleate and acetate by the mammary gland of the fed goat in relation to their overall metabolism,and the role of plasma phospholipids and neutral lipids in milk-fat synthesis[J].Biochemical Journal,1967,102(3):637–647.

[11] ENJALBERT F,NICOT M C,BAYOURTHE C,et al.Duodenal infusions of palmitic,stearic or oleic acids differently affect mammary gland metabolism of fatty acids in lactating dairy cows[J].The Journal of Nutrition,1998,128(9):1525–1532.

[12] RULQUIN H,GUINARD J,VÉRITÉ R.Variation of amino acid content in the small intestine digesta of cattle:development of a prediction model[J].Livestock Production Science,1998,53(1):1–13.

[13] MISCIATTELLI L,KRISTENSEN V F,VESTERGAARD M,et al.Milk production,nutrient

chinaXiv:201711.00832v1

utilization,and endocrine responses to increased postruminal lysine and methionine supply in dairy cows[J].Journal of Dairy Science,2003,86(1):275–286.

[14] BAUMRUCKER C R.Amino acid transport systems in bovine mammary tissue[J].Journal of Dairy Science,1985,68(9):2436–2451.

[15] 王强.奶山羊阴外动脉内乳成分前体物理想平衡模式的研究[D].博士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.

[16] SAFAYI S,NIELSEN M O.Intravenous supplementation of acetate,glucose or essential amino acids to an energy and protein deficient diet in lactating dairy goats:effects on milk production and mammary nutrient extraction[J].Small Ruminant Research,2013,112(1/2/3):162–173.

[17] PURDIE N G,TROUT D R,POPPI D P,et al.Milk synthetic response of the bovine mammary gland to an increase in the local concentration of amino acids and acetate[J].Journal of Dairy Science,2008,91(1):218–228.

[18] 孙满吉,卢德勋,王丽芳,等.阴外动脉灌注乙酸钠对奶山羊乳腺营养物质摄取和利用的影响[J].动物营养学报,2009,21(6):865–871.

[19] 刘飞.泌乳奶牛 RPMet 和 RPLys 适宜添加量及 Lys 缺乏对泌乳山羊乳腺 AA 代谢影响的研究[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2013.

chinaXiv:201711.00832v1

## Effects of Infusing Amino acid Mixture into External Pubic Artery on Uptake Rule of Short Chain Fatty Acids in Mammary Gland of Dairy Cows under Corn Straw Diet Condition

LI Muyang YAN Sumei* HAN Huina SHENG Ran GUO Xiaoyu

（*College of Animal Science*, *Inner Mongolia Agricultural University*, *Huhhot* 010018, *China*）

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of infusing amino acid (AA)

*Corresponding author, professor, E-mail: yansmimau@163.com (责任编辑 菅景颖)

mixture into external pubic artery on lactating performance, short chain fatty acid (SCFA) concentrations and their proportions in caudal artery and mammary vein blood, and the uptake rule of SCFA in mammary gland of mid lactation Holstein cows under corn straw diet condition using arteriovenous blood intubation technique. The experiment used a 2×2 cross experiment design. Eight healthy multifarious (2 to 3 parities) Holstein cows with good body condition, similar body weight and the milk yield of those cows was (20.17±1.28) kg/d, were randomly assigned in 2 groups which were fed different diets [alfalfa group (MF group) and corn straw (CS group)] with 4 cows of each group. In MF group and CS group, the dietary forage-to-concentrate ratio both was 45:55 and the concentrate composition was the same, but the forage composition was different. The forage of MF group was composed of alfalfa hay, corn silage and Chinese wildrye, and in the CS group, the corn straw was used to replace the total forage of MF group diet. The experiment was divided into 2 stages, and each stage lasted for 20 days, including the diet adjustment period (pre feeding period) of 14 days, carrier infusion phase of 3 days and experimental infusion phase of 3 days. In the first stage, dairy cows of MF group (positive control group 1) and CS group (control group) were infused the carrier during carrier infusion phase. During experimental infusion phase, the dairy cows of MF group were infused carrier continuously (positive control group 2), and the dairy cows of CS group were infused AA mixture. In the second phase, the dairy cows of CS group and MF group were swapped, and the processing method was the same as the first stage. Blood and milk samples were taken from dairy cows on the last 2 days of infusion in each experimental infusion phase. The results showed as follows: infusing AA mixture into external pubic artery of dairy cows in CS group significantly improved milk protein rate ($P$<0.05), and milk yield, fat corrected milk (FCM) yield, milk fat rate, milk fat yield and milk protein yield were promoted, but some indices of them still lower than MF group ($P$<0.05). Infusing AA mixture into external pubic artery of dairy cows in CS group had a tendency to increase the concentration of acetic acid in mammary vein blood ($P$=0.09), and significantly reduced the arteriovenous difference of acetic acid and the gaps of the uptake quantity and uptake efficiency of acetic acid in the mammary gland between CS group and MF group. Infusing AA mixture into external pubic artery of dairy cows in CS group had a certain promoting effect on increasing acetic acid/propionic acid and (acetic acid+butyric acid)/propionic acid in caudal artery blood ($P$>0.05). In conclusion, Infusing AA mixture into external pubic artery of dairy cows using corn straw as forage can significantly improve milk protein rate, increase the concentration of acetic acid in internal mammary vein blood, and reduce the gaps of intake quantity and intake efficiency of acetic acid in mammary gland with the dairy cows using alfalfa hay, corn silage and Chinese wildrye as forage.

Key words: dairy cows; external pubic artery; amino acid mixture; short chain fatty acids; intake

chinaXiv:201711.00832v1